

7–8 классы

1. 26 января 2015 года произошло сближение астероида 2004 BL86 с Землей. Оцените видимый угловой размер астероида во время сближения, если его диаметр примерно 300 м, а расстояние до него при сближении было в три раза больше, чем расстояние от Земли до Луны. Можно ли было различить диск астероида при наблюдении с Земли? Радиус Луны составляет примерно  $1/4$  радиуса Земли.

**Решение:**

При увеличении расстояния до объекта его угловой размер уменьшается, причем, если угол небольшой, то во столько раз, во сколько увеличилось расстояние. Это можно понять, построив соответствующий рисунок и померив углы транспортиром (впрочем, на этом рисунке и так видно, что угол уменьшился в 3 раза):



Следовательно, если бы астероид был размером с Луну, то на расстоянии от Земли в 3 раза большем, чем Луна, он казался бы в 3 раза меньше, т.е. его угловой размер был бы равен

$$\delta_{\text{аст}} = \frac{1}{3} \delta_{\zeta},$$

где  $\delta_{\zeta} \approx 0^{\circ}.5 = 30' = 1800''$  — угловой размер (диаметр) Луны на земном небе.

Так как астероид на самом деле меньше Луны, то его угловой диаметр будет еще во столько раз меньше, во сколько его реальный диаметр  $D_{\text{аст}}$  меньше диаметра Луны  $D_{\zeta}$  или четверти диаметра Земли  $D_{\oplus}$ , т.е. в итоге

$$\delta_{\text{аст}} = \frac{1}{3} \frac{D_{\text{аст}}}{D_{\zeta}} \delta_{\zeta} = \frac{4}{3} \frac{D_{\text{аст}}}{D_{\oplus}} \delta_{\zeta} = \frac{4}{3} \cdot \frac{3 \cdot 10^2 \text{ м}}{13 \cdot 10^5 \text{ м}} \cdot 1800'' \approx 0''.06$$

Вопрос про «различимость» диска астероида с Земли намного сложнее (и за правильное обоснование ответа на него выставляются дополнительные «бонусные» баллы). В принципе, такие малые углы могут различать даже не очень большие телескопы (диаметром примерно 2 м). Но наблюдения с поверхности Земли производятся из-под слоя атмосферы, которая, как говорят астрономы, «портит изображение». Те же причины, которые приводят к мерцанию звезд — неоднородность и подвижность земной атмосферы — приводят к тому, что изображение даже звезды (т.е. почти точки) в поле зрения телескопа размывается в неправильный и подвижный диск, который называют «дискосом дрожания». Его диаметр в местах с самым лучшим астроклиматом не бывает меньше примерно  $0''.5$ . В последние годы, правда, появилась возможность несколько улучшить этот результат (при использовании адаптивной оптики), однако объекты нужного нам углового размера увидеть в виде диска с поверхности Земли все равно нельзя.

Таким образом, в любой телескоп, расположенный на поверхности Земли, астероид выглядел светящейся точкой.

2. В Средневековье на Руси было принято византийское летоисчисление — началом года считалось 1 сентября, а счет лет велся «от сотворения Мира». Однако 19 декабря 7208 года «от сотворения Мира» Петр I подписал указ, согласно которому в ближайшее 1 января начинался новый, 1700 год «от Рождества Христова». Будем считать, что в допетровскую эпоху в Москве ( $55^{\circ}45'$  с.ш.,  $37^{\circ}37'$  в.д.) пользовались средним местным солнечным временем. Какая сегодня (1 февраля 2015 года) дата по допетровскому календарю? Назовите точное время, которое показывали бы «допетровские» часы в Москве в 12 часов 00 минут по московскому времени.

**Решение:**

Из условия задачи следует, что 1 февраля 1700 года «от Р.Х.» и 1 февраля 7208 года «от с.М.» — один и тот же день (заметьте, что год в допетровском летоисчислении начинался с сентября, поэтому после 1 января номер года не изменился). Следовательно, месяцам с января по август 2015 года в современном летоисчислении соответствует  $2015 + 7208 - 1700 = 7523$  год «от сотворения Мира».

Используемый нами сейчас григорианский календарь отличается от юлианского, использовавшегося в России до 1918 года (конечно, по современному летоисчислению) тем, что годы, номера которых делятся на 100, но не делятся на 400, в нем (в отличие от юлианского) високосными не являются. Сейчас юлианский календарь отстает от григорианского на 13 суток, и дата 1 февраля соответствует 19 января «по старому стилю».

Сложнее всего дела обстоят со временем. То, что сейчас называется «московским временем» — это среднее солнечное время центрального меридиана второго часового пояса (проходящего через западные пригороды Петербурга), долгота которого равна  $30^{\circ}00'$  в.д., плюс поправка в один час (называемая «декретным временем»). Можно также сказать, что это среднее солнечное время центрального меридиана третьего часового пояса, долгота которого равна  $45^{\circ}00'$  в.д. (расстояние между центральными меридианами часовых поясов составляет  $15^{\circ} = 360^{\circ}/24$ ). Москва находится западнее меридиана  $45^{\circ}$  почти точно на  $7^{\circ}.5$ , половину средней ширины часового пояса, т.е. среднее солнечное время в Москве отстает от московского времени (хоть эта фраза и выглядит странно, она имеет смысл) почти точно на полчаса.

Теперь можно записать окончательный ответ: 11 часов 30 минут 19 января 7523 года от «сотворения Мира».

*Примечание:* если кто-то из участников вспомнил про существование т.н. «уравнения времени» (разницы между средним солнечным временем и истинным солнечным временем), то в целом это похвально, но для решения данной конкретной задачи не нужно — и современное время, и «допетровское» привязаны к среднему солнечному времени.

3. Некоторая планетарная туманность была сфотографирована дважды с интервалом три года. Оказалось, что угловой диаметр туманности за это время увеличился на  $0''.03$ . При этом скорость удаления краев туманности от ее центра составляет 24 км/с. Оцените расстояние до туманности.

**Решение:**

Легко видеть, что за год угловой диаметр туманности увеличивался на  $0''.01$ . За это же время каждый из ее краев удалялся от центра (т.е. увеличивался радиус) на

$$\Delta R = v \cdot t,$$

где  $v$  — скорость удаления краев, а  $t = 3 \cdot 10^7$  с — время, равное одному году.

Изменение линейного диаметра  $\Delta D$  за это же время, очевидно, равно  $2 \cdot \Delta R$ .

Теперь надо связать увеличение линейного диаметра с увеличением углового. Вспоминая решение первой задачи, сравним туманность с каким-нибудь объектом с известным угловым размером, например, с Солнцем (можно с Луной, тогда можно воспользоваться данными из первой задачи). Тогда расстояние до туманности  $r_{\text{тум}}$  будет во столько раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца ( $r_{\odot} = 1.5 \cdot 10^8$  км), во сколько раз угловой диаметр туманности  $\delta_{\text{тум}}$  меньше, чем у Солнца  $\delta_{\odot} = 1800''$ , а линейный — больше, чем у Солнца  $D_{\odot} = 1.4 \cdot 10^6$  км:

$$r_{\text{тум}} = \frac{\delta_{\odot}}{\delta_{\text{тум}}} \frac{\Delta D}{D_{\odot}} r_{\odot} = \frac{1800}{0.01} \cdot \frac{2 \cdot 24 \cdot 3 \cdot 10^7}{1.4 \cdot 10^6} \cdot 1.5 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ км},$$

что примерно равно 1 килопарсеку.

4. 4 февраля 2015 года Луна пройдет в  $5^\circ$  южнее Юпитера на небе. Найдите расстояние от Земли до Юпитера в этот момент, если известно, что в ночь с 25 на 26 февраля 2015 года в Петербурге можно будет наблюдать покрытие Альдебарана Луной. Радиус орбиты Юпитера около 5 а.е.

**Решение:**

В конце февраля Солнце находится в Водолее, т.е. примерно на  $90^\circ$  западнее Тельца. Значит, 26 февраля Луна видна примерно в первой четверти. Между 4 и 26 февраля пройдет 22 дня, что составляет примерно  $3/4$  от месяца (более точно — синодического месяца, т.е. периода смены фаз Луны). Значит, 4 февраля Луна будет примерно в фазе полнолуния, а Юпитер, находящийся на небе рядом с ней — в противостоянии. При этом расстояние от Земли до Юпитера равно разности радиусов орбит Юпитера и Земли и составляет примерно 4 а.е.

5. В нашей Галактике есть два типа звездных скоплений: рассеянные скопления, в каждом из которых около тысячи звезд, и шаровые скопления, в каждом из которых около миллиона звезд. Рассеянные скопления находятся в плоскости диска Галактики, шаровые распределены сферически-симметрично относительно центра Галактики. Как для наблюдателя с Земли расположены рассеянные скопления на небе? А шаровые? Объясните свой ответ.

**Решение:**

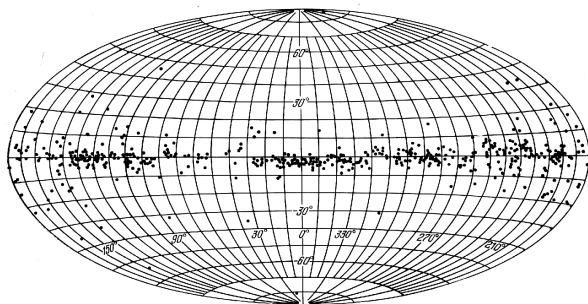
Для получения ответа нужно сформулировать несколько утверждений, часть которых следует из условия задачи, а часть — из общих представлений об устройстве Галактики:

- 1) основная часть звезд Галактики находится в плоском и достаточно тонком диске;
- 2) Солнце также находится в этом диске, причем достаточно далеко от его центра (на расстоянии около 8 кпк);
- 3) при наблюдении с Земли этот диск виден на небе как Млечный Путь;
- 4) рассеянные скопления находятся в том же диске, следовательно, на небе они должны наблюдаться также в районе Млечного Пути;
- 5) шаровые скопления расположены симметрично относительно центра Галактики и, так как мы смотрим на центр «сбоку» шаровые скопления должны в основном наблюдаться вокруг направления на центр Галактики.

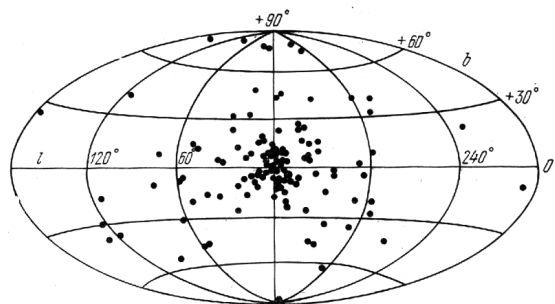
Кроме этого, можно учесть, что в диске Галактики достаточно много пыли, которая хорошо поглощает свет. Поэтому, так как в рассеянных скоплениях не так уж много звезд, они должны быть видны на сравнительно небольших расстояниях от Солнца, следовательно, в разных областях Млечного Пути их должно наблюдаться примерно одинаковое количество.

Наоборот, шаровые скопления, содержащие большее количество звезд, видны с существенно больших расстояний. К тому же, поскольку они находятся не только в диске Галактики, поглощение света для них оказывается в среднем существенно меньше.

Как обстоит дело в действительности, можно посмотреть на двух схемах ниже. В обоих случаях использовались галактические координаты, центр Галактики находится в центре схемы, а центральная горизонтальная прямая соответствует плоскости диска Галактики.



Расположение рассеянных скоплений



Расположение шаровых скоплений